

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2000年12月7日 (07.12.2000)

PCT

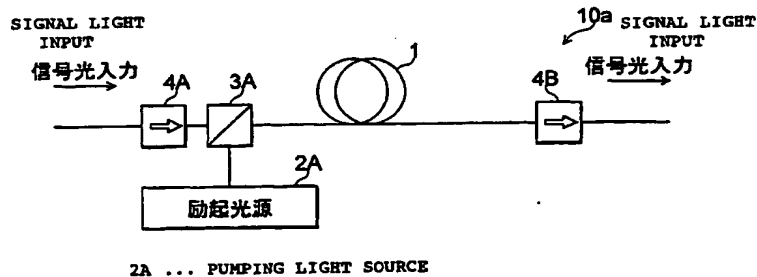
(10) 国際公開番号  
WO 00/74184 A1

- (51) 国際特許分類: H01S 3/10 (74) 代理人: 弁理士 長谷川芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiaki et al.); 〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP99/02850
- (22) 国際出願日: 1999年5月28日 (28.05.1999)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): AU, CN, JP, KR.
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 遠藤信次 (ENDO, Shinji). 石川真二 (ISHIKAWA, Shinji). 角井素貴 (KAKUI, Motoki); 〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。



(54) Title: OPTICAL FIBER FOR OPTICAL AMPLIFICATION AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER

(54) 発明の名称: 光増幅用光ファイバ及び光ファイバ増幅器



WO 00/74184 A1

(57) Abstract: An optical fiber (1) for optical amplification which is used for amplification of signal light in a 1.58  $\mu$ m band and in which Er is added to at least a core region (11), characterized in that at least part of the core region (11) is made of silica glass to which Ge and Al are added along with Er, the average atomic concentration of Er in the core region (11) is 950 to 3000 wtppm, and the mode field diameter in the 1.58  $\mu$ m band is over 5  $\mu$ m.

[続葉有]



---

(57) 要約:

1.58 $\mu$ m帯の信号光を増幅するのに用いられる少なくともコア領域11にErが添加された光増幅用光ファイバ1であり、このコア領域11の少なくとも一部は、ErとともにGe、Alが共添加されたシリカガラスからなり、このコア領域11中の平均Er原子濃度は950wtppm以上3000wtppm未満で、1.58 $\mu$ m帯におけるモードフィールド径が5 $\mu$ m以上であることを特徴とする。

## 明細書

### 光増幅用光ファイバ及び光ファイバ増幅器

#### 技術分野

- 5 本発明は、励起光と信号光を入射させて信号光を増幅して出力する光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器で用いられる光増幅用光ファイバに関し、特にコアの少なくとも一部にエルビウムを添加した光増幅用光ファイバ及びこの光ファイバを用いた光ファイバ増幅器に関する。

#### 10 背景技術

光通信ネットワークにおいて伝送可能な情報量、すなわち、通信容量を増大させる手法として、波長多重 (WDM; Wavelength Division Multiplexing) 通信技術が知られている。

- このWDM通信では、WDM信号光を一括増幅することのできる超広帯域光ファイバ増幅器の開発が求められている。山田誠らの「通信波長帯を一括増幅可能な超広帯域光ファイバ技術」(NTT技術ジャーナル1998年11月号、76頁～81頁)は、こうした技術の一例を開示している。この文献には、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯に増幅域を有するEr添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅部と、波長1.58 $\mu\text{m}$ 帯に増幅域を有するEr添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅部とを並列に接続することで、1.55  $\mu\text{m}$ 帯と1.58 $\mu\text{m}$ 帯の両者に広い利得平坦帯域を有する光ファイバ増幅器が開示されている。

- しかしながら、従来光ファイバ増幅器に用いられてきたEr添加光ファイバの1.58 $\mu\text{m}$ 帯における単位長あたりの増幅率は、1.55 $\mu\text{m}$ 帯における単位長あたりの増幅率(単位長利得)に比べて1桁以上小さいため、1.55 $\mu\text{m}$ 帯と同等の信号利得を得るためには、増幅用光ファイバの長さが10倍以上必要となり、その長さは数百mに達してしまい、装置が大型化してしまうという欠点がある。

増幅用光ファイバの単位長利得を向上させるには、Er添加量を増加させ、Erによる励起光吸収量を増加させる手法が考えられるが、Er濃度が高くなると濃度消光を生じるため、変換効率が低下してしまう。例えば、本発明者らは「1580nm帯で高単位長利得を持つEDFの検討」(電子通信学会報OAA'98 C-3-3)でEr濃度を1100wtppmに高めたEDFを報告しているが、これは従来考えられていた濃度消光限界にほぼ近いEr添加濃度である。

#### 発明の開示

1.58 $\mu$ m帯用の光増幅用光ファイバのさらなる単位長利得向上が望まれていることから、本発明者らは鋭意研究した結果、Al共添加によりEr原子の会合を抑制することで、濃度消光の発生を抑制し、従来と比較してEr濃度の増大が可能であることを見出した。さらに、Er吸収量を増大する手法として、Erの添加領域と光パワー分布の重なりを大きくすることを考えた。そして、これを実現するためには、カットオフ波長を長波長側にシフトさせてコア中の光閉じ込め効果を大きくすることが有効であることを見出した。

つまり、カットオフ波長を長波長側にシフトさせるとコア中の光閉じ込め効果が大きくなり、Er吸収量を増大させることができる。そして、濃度消光が発生するEr添加濃度限界も高濃度側にシフトするため、添加量も増大させることができる。Er添加濃度を増加させ、カットオフ波長を長波長側にシフトさせることで、単位長利得の高い光増幅用光ファイバが得られる。さらに、曲げ損失が低下する効果があり、光増幅用光ファイバを小さく巻いてパッケージ化することができるという効果も得られる。

本発明は上記の知見を基になされたものであって、本発明に係る光増幅用光ファイバは、少なくともコア領域にErが添加されており、1.58 $\mu$ m帯の信号光を増幅するのに用いられる光増幅用光ファイバであって、コア領域の少なくとも一部は、ErとともにGe、Alが共添加されたシリカガラスからなり、コア領域中の平

均Er原子濃度は950wtppm以上3000wtppm未満で、1.58 $\mu$ m帯におけるモードフィールド径 (MFD) が5 $\mu$ m以上であることを特徴とする。

5 一方、本発明に係る光ファイバ増幅器は、この光増幅用ファイバと、この光増幅用光ファイバを励振させる励起光を出射する励起光源と、励起光源から発せられた励起光を信号光と合成して光増幅用光ファイバに導入する合分波器と、信号光の入出力端にそれぞれ配置されている光アイソレータと、を備えていることを特徴とする。

10 このように構成することで、上述したように単位長利得の高い光増幅用光ファイバが得られる。また、MFDを5 $\mu$ m以上に設定することで、信号光のパワー密度を低減して、自己位相変調による信号波形の歪みや4光波混合による信号のクロストークなどの非線形効果を低減することができるので好ましい。また、信号伝送用ファイバとの接続損失低減に効果があり、エネルギー変換効率向上の観点でも有利となる。

15 光増幅用光ファイバのコア領域のAl原子濃度は1wt%以上であることが好ましく、5wt%以上20wt%未満であればさらに好ましい。Al原子濃度をこのように設定することで、Er原子の会合を抑制して濃度消光限界を高濃度側にシフトさせることが可能となる。

20 光増幅用光ファイバは、コア領域中の平均Er原子濃度が1000wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は1.2 $\mu$ m以上1.5 $\mu$ m以下の範囲に有ると好適である。このようにカットオフ波長を長波長側にシフトさせることでコアの閉じ込め係数を0.8以上に向上させることができ、Erを1000wtppm以上添加することで1.58 $\mu$ m帯の光増幅に対して1.55 $\mu$ m帯と同程度の単位長利得を得ることが可能となる。この光増幅用光ファイバを用いた光増幅器においては、励起光源として1.48 $\mu$ m帯の励起光を出射する励起光源が用いられる。

25 光増幅用光ファイバは、コア領域中の平均Er原子濃度が1500wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は0.8 $\mu$ m以上1.1 $\mu$ m以下の範

囲にあるものも好適である。この場合は、Er原子濃度を1500wtppm以上に高めることで1.58 $\mu\text{m}$ 帯の光増幅に対して1.55 $\mu\text{m}$ 帯と同程度の単位長利得を得ることが可能となる。この光増幅用光ファイバを用いた光増幅器においては、励起光源として0.98 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を出射する励起光源が用いられる。

- 5       さらに、上記1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を出射する励起光源を用いた光ファイバ増幅器及び／又は上記0.98 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を出射する励起光源を用いた光ファイバ増幅器を複数個直列に接続して構成した増幅部を備えている光ファイバ増幅装置としてもよい。多段構成とすることで、所望の増幅率を達成することが容易になる。

本発明は以下の詳細な説明および添付図面によりさらに十分に理解可能となる。

- 10       これらは単に例示のために示されるものであって、本発明を限定するものと考えるべきではない。

本発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになるだろう。しかしながら、詳細な説明および特定の事例は本発明の好適な実施形態を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、本発明の思想および

15       範囲における様々な変形および改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

#### 図面の簡単な説明

- 20       図1～図3は、本発明に係る光ファイバ増幅器の異なる実施形態の全体構成をそれぞれ示す概略図である。

図4Aは、本発明に係る光増幅用光ファイバの縦断面図であり、図4Bはその横断面図である。

図5Aは、本発明に係る光増幅用光ファイバの別の形態の縦断面図であり、図5Bはその横断面図である。

- 25       図6は、本発明に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

図7は、本発明に係る光ファイバ増幅器による増幅波形を表すグラフである。

図8は、Er原子濃度と増幅特性の関係を示すグラフであり、図9は、Er原子濃度と単位長利得の関係を示す図である。

5 図10～図12は、それぞれAl原子濃度が5.5wt%、1.2wt%、8.5wt%の場合に、Er原子濃度の異なるEDFの1.58 $\mu$ m帯における平均ゲインと変換効率との関係を示したグラフである。

図13は、最大変換効率とAl、Erの各原子濃度の関係を示すグラフである。

図14は、Al原子濃度と変換効率低下の起こるEr原子濃度との関係を表すグラフである。

10 図15は、本発明に係る光増幅用光ファイバのカットオフ波長と閉じ込め係数の関係を示すグラフである。

図16は、本発明に係るEDFを単一モードファイバと融着接続したときの接続損失をEDFのMFDに対してプロットしたグラフである。

## 15 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して本発明の好適な実施の形態を詳細に説明する。説明の理解を容易にするため、各図面において同一の構成要素に対しては可能な限り同一の参照番号を附し、重複する説明は省略する。

20 図1～図3は、本発明に係る光ファイバ増幅器の異なる実施形態のそれぞれの構成を示す概略図である。いずれも図中の左端から増幅対象の信号光を入力させて、図中の右端から増幅させた信号光を出力する構成となっている。そして図1～図3にそれぞれ示される光ファイバ増幅器10a、10b、10cはいずれも信号光を増幅する増幅媒体である本発明に係る光増幅用光ファイバ1を有し、信号の入力端側と出力端側に光ファイバ増幅器の発振を抑える光アイソレータ4A、  
25 4Bがそれぞれ配置されている。そして、0.98 $\mu$ m帯あるいは1.48 $\mu$ m帯の光増幅用光ファイバ1の励起光を発生させる励起光源2A及び/又は2Bと、これら

励起光源 2 A 及び / 又は 2 B で発生した励起光を信号光が入射される光増幅用光ファイバ 1 へと導く合分波器 3 A 及び / 又は 3 B とを備えている。

5 光増幅用光ファイバ 1 に励起光をいずれの方向から導入するかによって、光増幅器は大きく 3 つのタイプに分類される。図 1 に示されるように信号光と励起光を合成して光増幅用光ファイバ 1 に導く光ファイバ増幅器 10 a を前方励起系と呼び、図 2 に示されるように信号光とは反対方向から光増幅用光ファイバ 1 に励起光を導く光ファイバ増幅器 10 b を後方励起系と呼び、図 3 に示されるように光増幅用光ファイバ 1 の両端から励起光を導入する光ファイバ増幅器 10 c を双方向励起系と呼ぶ。これらの増幅器を複数直列に組み合わせて増幅部を構成してもよい。

10 図 4 A、図 4 B、図 5 A、図 5 B は、これらの光ファイバ増幅器 10 a、10 b、10 c で用いられる光増幅用光ファイバ 1 の構成を示す図であり、図 4 A、図 5 A がそれぞれ縦断面図、図 4 B、図 5 B はそれぞれ対応する横断面図である。

15 図 4 A、図 4 B に示される光増幅用光ファイバは、外径  $2a$  のコア領域 11 の周囲に外径  $2b$  のクラッド領域を有する構造となっており、コア領域 11 は、少なくとも Al、Ge、Er が共添加された石英ガラスからなり、クラッド領域 12 は、少なくとも Er が添加されておらず、コア領域 11 より屈折率の小さい石英ガラスからなる。以下、この種の光増幅用光ファイバのことを全ドープ EDF (Erbium-Doped optical Fiber) と呼ぶ。

20 一方、図 5 A、図 5 B に示される光増幅用光ファイバは、コア領域 11 が軸中心部分の Er が添加された蛍光領域 11 a とその周囲の Er が添加されていない透明領域 11 b とで構成されている点が相違する。以下、この種の光増幅用光ファイバのことを部分ドープ EDF と呼ぶ。

25 いずれの光増幅用光ファイバもその屈折率プロファイルは図 6 に示される通りのいわゆる S I (Step Index) 型であり、コア領域 11 とクラッド領域 12 の比屈折率差を以下、 $\Delta n$  で表す。



ここで、コア領域 1 1 (蛍光領域 1 1 a と透明領域 1 1 b に区分する場合は蛍光領域 1 1 a) の原子濃度が 950wtppm 以上 3000wtppm 未満の Er が添加されている。そして、Al 原子濃度は、1 wt% 以上であることが好ましく、5wt% 以上 20wt% 以下であればさらに好ましい。さらに、光増幅用光ファイバ 1 は、1.58 $\mu$ m 帯におけるモードフィールド径が 5 $\mu$ m 以上に設定されている。

励起光源 2 A あるいは 2 B として 1.48 $\mu$ m 帯の励起光を出射する励起光源 2 A、2 B を用いる場合は、光増幅用光ファイバ 1 のコア領域中の平均 Er 原子濃度は 1000wtppm 以上 3000wtppm 未満であり、かつ、そのカットオフ波長  $\lambda_c$  は 1.2 $\mu$ m 以上 1.5 $\mu$ m 以下の範囲に設定されていることが好適である。

10 励起光源 2 A あるいは 2 B として 0.98 $\mu$ m 帯の励起光を出射する励起光源 2 A、2 B を用いる場合は、光増幅用光ファイバ 1 のコア領域中の平均 Er 原子濃度は 1500wtppm 以上 3000wtppm 未満であり、かつ、そのカットオフ波長  $\lambda_c$  は 0.8 $\mu$ m 以上 1.1 $\mu$ m 以下の範囲に設定されていることが好適である。

この光増幅用光ファイバ 1 は、以下のようにして製作することができる。

15 まず、図 4 A、図 4 B に示される全ドープ EDF の製法から説明する。基材として純石英、あるいは F、Cl 等を添加した石英ガラス製のガラスパイプを用意する。この基材パイプの内側の空間に Ge、P 等を添加した石英ガラスを MVCD 法により堆積させて多孔質体を形成する。そして、堆積させた多孔質体に Er と Al を含む溶液を含浸させる。含浸終了後に溶媒を乾燥により除去した後、多孔質体を加熱

20 することで透明化、ガラス化させることで Er と Al が添加された領域を形成する。必要に応じて多孔質層の堆積、含浸、乾燥、ガラス化を繰り返すことにより積層させてファイバ母材を作成し、これを線引きし所望の全ドープ EDF を得る。

図 5 A、図 5 B に示される部分ドープ EDF の場合は、同様に基材パイプを用意した後、この基材パイプの内側にまず、Ge、P 等を添加した石英ガラスを MVCD

25 法により堆積させて透明な石英ガラス層を形成する。その後で、この石英ガラス層の内側に全ドープ EDF と同様に多孔質層の堆積、含浸、乾燥、ガラス化を繰り返

返すことにより積層させてファイバ母材を作成し、これを線引きすることで所望の部分ドープEDFを得る。

図3に示される本発明に係る双方向励起系の光ファイバ増幅器10cの増幅特性を調べた。光増幅用光ファイバ1には表1に示されるような特性値を有する全ドープEDFを用い、励起光源2A、2Bとしては、1.48 $\mu\text{m}$ 帯LD（レーザダイオード）を用い、反転分布が40%付近になるように調整を行った。増幅特性の測定結果を図7に示す。

特性	特性値
コア領域11のEr原子濃度	1500wtppm
Al原子濃度	9wt%
$\Delta n$	2.1%
$\lambda_c$	1.45 $\mu\text{m}$
MFD	4.5 $\mu\text{m}$
実効コア面積	21 $\mu\text{m}^2$

表1 EDF特性値

10

図7に示されるように本発明に係る光増幅用光ファイバを用いて光増幅を行なうことで信号光の波長が1.57~1.60 $\mu\text{m}$ の1.58 $\mu\text{m}$ 帯でほぼ平坦かつ良好な増幅特性が得られることが確認された。

次に、Er原子濃度と増幅特性との関係を調べた結果について説明する。ここでは、Al添加量を5wt%、比屈折率差 $\Delta n$ を1.3%、カットオフ波長 $\lambda_c$ を1.3 $\mu\text{m}$ 、MFDを5.5 $\mu\text{m}$ とし、Er原子濃度を変えた数種のEDFを用い、図3に示される双方向励起系の光ファイバ増幅器により、1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光で1.58 $\mu\text{m}$ 帯の増幅効率が最大となるように反転分布を最適化させたときの結果について述べる。

図8に示されるように、増幅信号利得が+10dBの場合は、Er原子濃度が1000wtppmのときに増幅効率は最大の75%に達し、それより高濃度側、低濃度側のいずれでも増幅効率は低下するが、低濃度側のほうが低下量が大きくなった。

例えば60%以上の増幅効率を確保できるのは、Er原子濃度が450wtppm～2700wtppmの場合であり、50%以上の増幅効率を確保できるのは、Er原子濃度が300wtppm～3300wtppmの場合であった。一方、増幅信号利得が+25dBの場合は、増幅効率が最大となるEr原子濃度は増幅信号利得が+10dBの場合より高濃度側にシフトして原子濃度約1200wtppmであり、その最大増幅効率は約57%であった。この場合に50%以上の増幅効率を確保できるのは、Er原子濃度が600wtppm～2600wtppmの場合であった。

図9は、この増幅信号利得が+10dBの場合のEr原子濃度と単位長利得の関係を示したグラフである。基本的にEr原子濃度が高いほど単位長利得は大きくなるが、原子濃度が1000wtppmを超えるとその増加率がなだらかになっていく。単位長利得0.5dB/m以上を確保するためには、Er原子濃度は950wtppm以上必要なことが確認された。

次に、Al濃度、Er濃度を変えて増幅特性を調べた結果について述べる。ここでは、EDFの比屈折率差 $\Delta n$ を1.3%、カットオフ波長 $\lambda_c$ を1.3 $\mu\text{m}$ 、MFDを5.5 $\mu\text{m}$ とし、図3に示される双方向励起系を用いて増幅特性を調べた。励起波長は1.48 $\mu\text{m}$ 帯とし、入力信号光は+5dBmとした。

図10～図12は、それぞれAl原子濃度が5.5wt%、1.2wt%、8.5wt%の場合に、Er原子濃度の異なるEDFの1.58 $\mu\text{m}$ 帯における平均ゲインと変換効率との関係を示したグラフである。図13は、図10～図12より得られた光-光変換効率の最大値を最大変換効率と定義したときの最大変換効率とAl、Erの各原子濃度の関係を示すグラフである。

図10～図12に示されるようにEr濃度が高くなると、最大変換効率は低下することが確認された。そして、図13から明らかなように、Al添加量が0の場合は、Er濃度が高くなるほど、急激に最大変換効率は低下していった。Alの添加量が増えるにしたがって、Erの高濃度領域での最大変換効率は向上していき、Al濃度が5.5wt%、8.5wt%のときは、Er濃度が3000ppmを超えても最大変

換効率60%を維持した。

各Al濃度において、最大変換効率より変換効率が2.5%及び5%低下するEr原子濃度（高濃度側）をプロットしたグラフが図14である。いずれもAl原子濃度が5%以上ではほぼ効率が低下するEr濃度が同一かつ最大になることがわかった。

5 したがって、Al原子濃度を5wt%以上とすることで、Erを多量に添加することができる。これは、Al原子が存在することで、Er原子同士の会合を防ぐことができ、会合による効率低下を防止できるためと考えられる。

本発明者らは、光増幅用光ファイバの1.58 $\mu$ m帯における単位長利得G/Lは、Al濃度が5wt%以上のときは、

$$10 \quad G/L = \text{Er添加濃度 [ppm]} \times \text{吸収係数 [dB/m/ppm]} \times \text{閉じ込め係数} \times 0.033$$

で表せることを見出した。この式における吸収係数は、1.53 $\mu$ m帯における吸収係数であり、0.033は、1.58 $\mu$ mのゲイン比率を表している。

15 図15は、本発明に係る光増幅用光ファイバのカットオフ波長 $\lambda_c$ とこの閉じ込め係数との関係を示したグラフである。ここで、閉じ込め係数とは、信号波長のモードフィールドとErを添加したコア部との重なりであり、コア中心からrの距離における光パワー密度をP(r)とすると、以下の式によって定義される係数である。

$$\text{閉じ込め係数} = \frac{\int_0^a r P(r) dr}{\int_0^\infty r P(r) dr} = \frac{\text{コア中のパワー}}{\text{全フィールドのパワー}}$$

20 光増幅用光ファイバを用いて励起光による光増幅を行なうときは、カットオフ波長 $\lambda_c$ に近い帯域の励起光が用いられる。例えば、1.48 $\mu$ m帯の励起光で光増幅を行なう場合には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が1.2~1.5 $\mu$ m付近のEDFが光増幅用光ファイバとして用いられる。この場合、図15より閉じ込め係数は0.8以上に達する。一方、吸収係数は、0.025dB/m/ppmであるから、G/Lを0.5dB/mにするには、750wtppm以上のErを添加すればよいことがわかる。Er添加濃度が

1000wtppm以上であればさらに好ましい。濃度消光の観点からはEr添加濃度は3000wtppm以下であることが好ましい。

0.98 $\mu$ m帯の励起光で光増幅を行なう場合には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が0.8～1.1 $\mu$ m付近のEDFが光増幅用光ファイバとして用いられる。この場合、図15より閉じ込め係数は0.4～0.7の範囲になる。そして、さらに好ましいカットオフ波長 $\lambda_c$ 0.98 $\mu$ m以下では、閉じ込め係数は0.5以下になる。例えば、 $\lambda_c$ が0.9 $\mu$ mのEDFを想定すると、図15よりその閉じ込め係数は約0.5になる。このとき、G/Lを0.5dB/mにするには、式(1)よりEr添加濃度を1200wtppmとすればよいことがわかる。閉じ込め係数が最小の0.4の場合でも1500wtppm以上あれば充分である。濃度消光の観点からはEr添加濃度は同じく3000wtppm以下であることが好ましい。

MFDが小さいと、ファイバの分散値が0からはずれた場合に自己位相変調による信号波形の歪みが生じやすい。逆に、ファイバの分散値が0に近い場合は4光波混合等の非線形効果が生じてWDM信号間のクロストークが生ずる可能性がある。このような自己位相変調や非線形効果を低減するには、MFDを大きくとることが好適である。さらに、MFDが小さいと、他のファイバとの接続点において接続損失が大きくなるという欠点がある。

図16は、本発明に係るEDFを単一モードファイバ( $\Delta n=0.35\%$ 、 $\lambda_c=1.25\mu$ m、波長1.55 $\mu$ mにおけるMFD=10.2 $\mu$ m)と融着接続したときの接続損失をEDFのMFDに対してプロットしたグラフである。接続損失を良好な特性とされる0.2dB/point以下とするには、MFDが5 $\mu$ m以上であれば好適であることがわかった。

以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めることができず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

### 産業上の利用可能性

- 本発明に係る光増幅用光ファイバ及びこの光ファイバを利用した光ファイバ増幅器は、 $1.58\mu\text{m}$ 帯の信号光を増幅するのに好適に用いることができ、特に、WDM
- 5 通信において、信号光を一括増幅するのに好適に用いることができる。

## 請求の範囲

1. 少なくともコア領域にErが添加されており、1.58 $\mu\text{m}$ 帯の信号光を増幅するのに用いられる光増幅用光ファイバであって、

5 前記コア領域の少なくとも一部は、ErとともにGe、Alが共添加されたシリカガラスからなり、前記コア領域中の平均Er原子濃度は950wtppm以上3000wtppm未満で、1.58 $\mu\text{m}$ 帯におけるモードフィールド径が5 $\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする光増幅用光ファイバ。

2. 前記コア領域のAl原子濃度が1wt%以上であることを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。

10 3. 前記コア領域のAl原子濃度が5wt%以上20wt%未満であることを特徴とする請求項2記載の光増幅用光ファイバ。

4. 前記コア領域中の平均Er原子濃度が1000wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は1.2 $\mu\text{m}$ 以上1.5 $\mu\text{m}$ 以下の範囲に有ることを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。

15 5. 前記コア領域中の平均Er原子濃度が1500wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は0.8 $\mu\text{m}$ 以上1.1 $\mu\text{m}$ 以下の範囲に有ることを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。

6. 少なくともコア領域にErが添加されている光増幅用光ファイバを用いて1.58 $\mu\text{m}$ 帯の信号光を増幅する光ファイバ増幅器であって、

20 前記光増幅用光ファイバを励振させる励起光を出射する励起光源と、

前記励起光源から発せられた励起光を信号光が入射される前記光増幅用光ファイバへと導入する合分波器と、

信号光の入出力端にそれぞれ配置されている光アイソレータと、を備えており、

25 前記光増幅用光ファイバは、前記コア領域が少なくとも一部にErとともにGe、Alが共添加されたシリカガラスからなり、前記コア領域中の平均Er原子濃度は950wtppm以上3000wtppm未満で、1.58 $\mu\text{m}$ 帯におけるモードフィールド径が

5 $\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする光ファイバ増幅器。

7. 前記光増幅用光ファイバの前記コア領域中の平均Er原子濃度が1000wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は1.2 $\mu\text{m}$ 以上1.5 $\mu\text{m}$ 以下の範囲に有り、前記励起光源は、1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を出射することを特徴とする請求項6記載の光ファイバ増幅器。

8. 前記光増幅用光ファイバの前記コア領域中の平均Er原子濃度が1500wtppm以上3000wtppm未満であって、かつ、カットオフ波長は0.8 $\mu\text{m}$ 以上1.1 $\mu\text{m}$ 以下の範囲に有り、前記励起光源は、0.98 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を出射することを特徴とする請求項6記載の光ファイバ増幅器。

10 9. 請求項7記載の光ファイバ増幅器及び/又は請求項8記載の光ファイバ増幅器を複数個直列に接続して構成した増幅部を備えている光ファイバ増幅装置。



图1

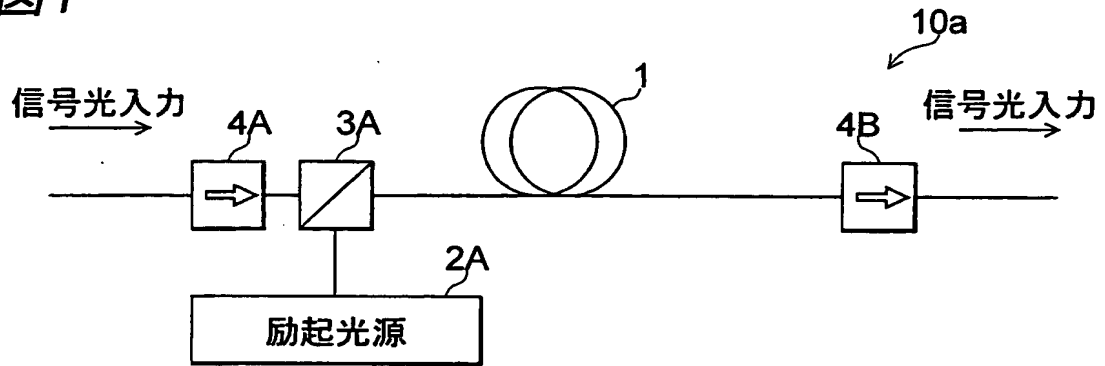


图2

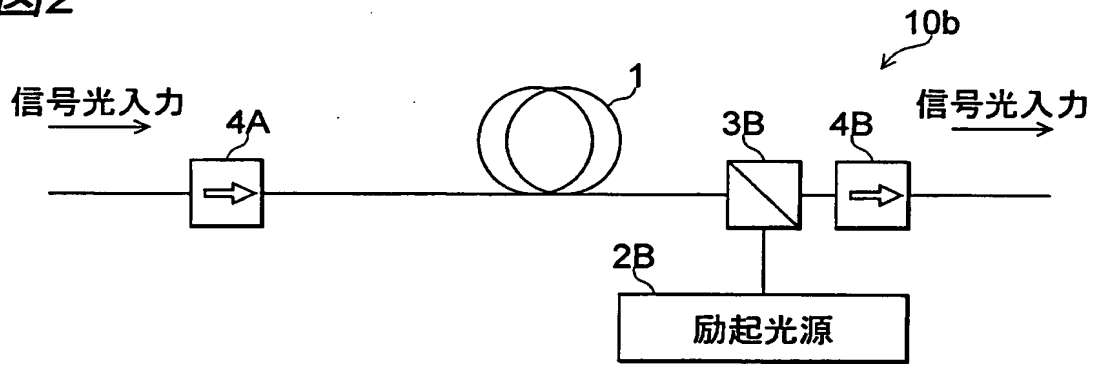


图3

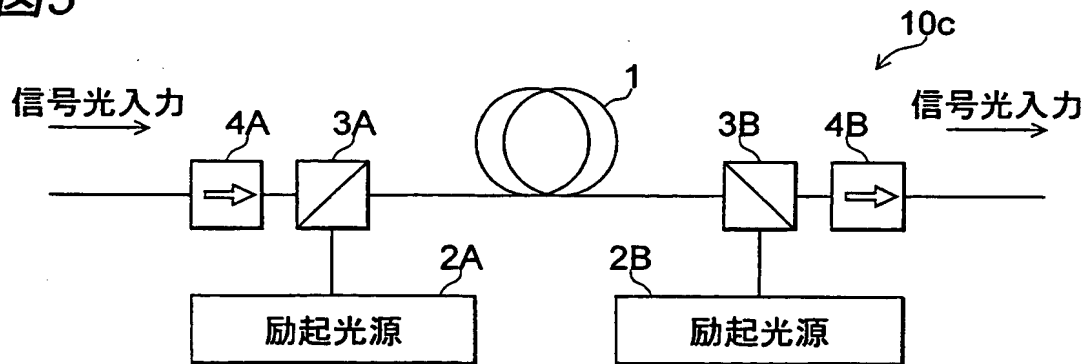


図4A

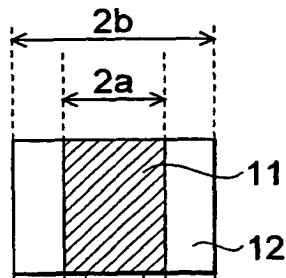


図5A

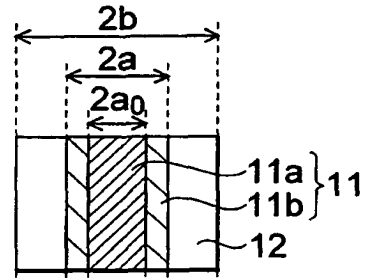


図4B

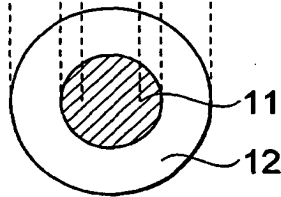


図5B

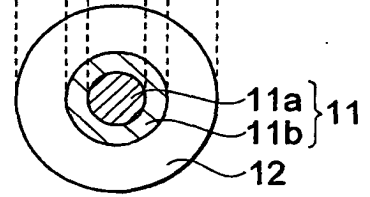


図6

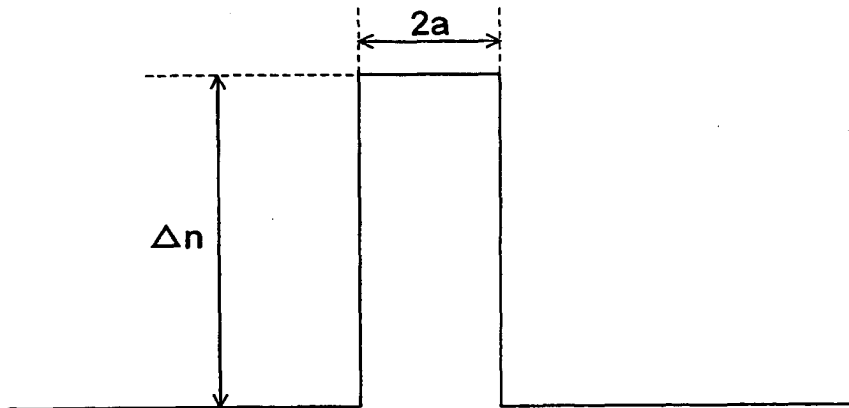


図7

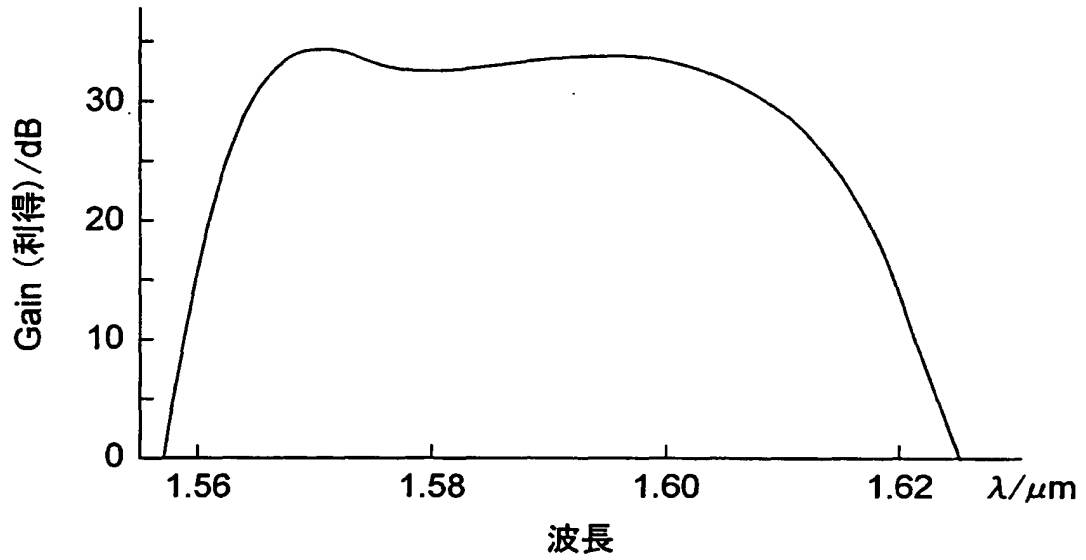
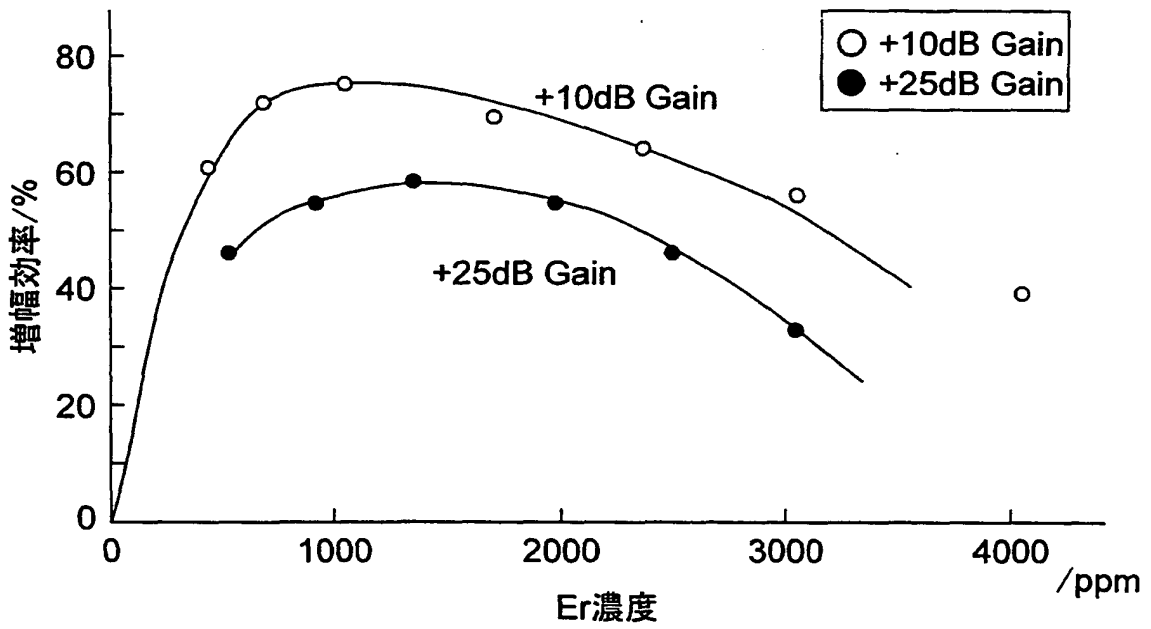


図8



WO 0074184

図9

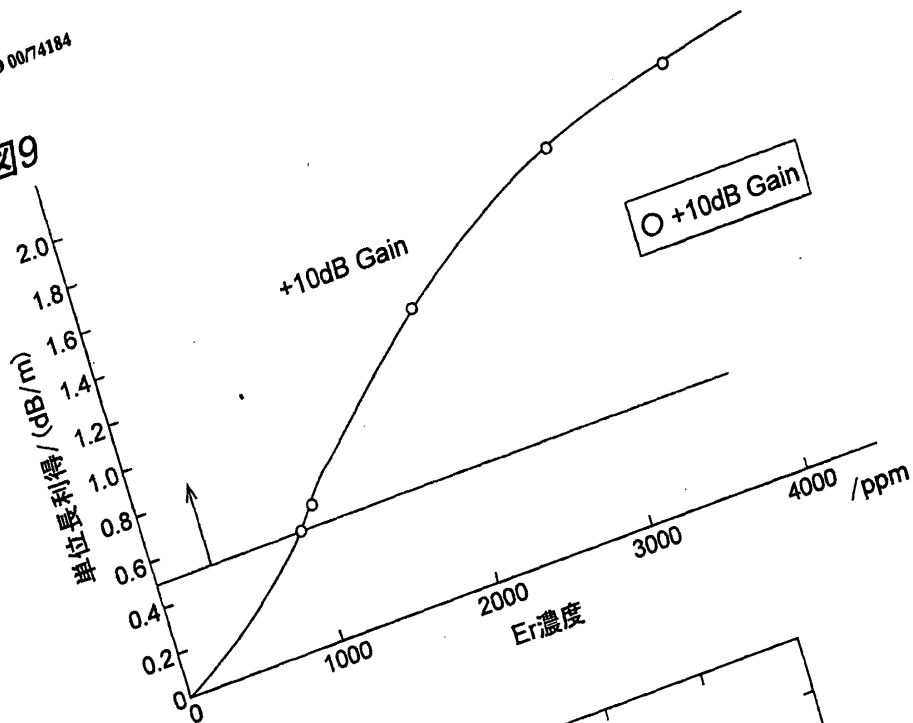
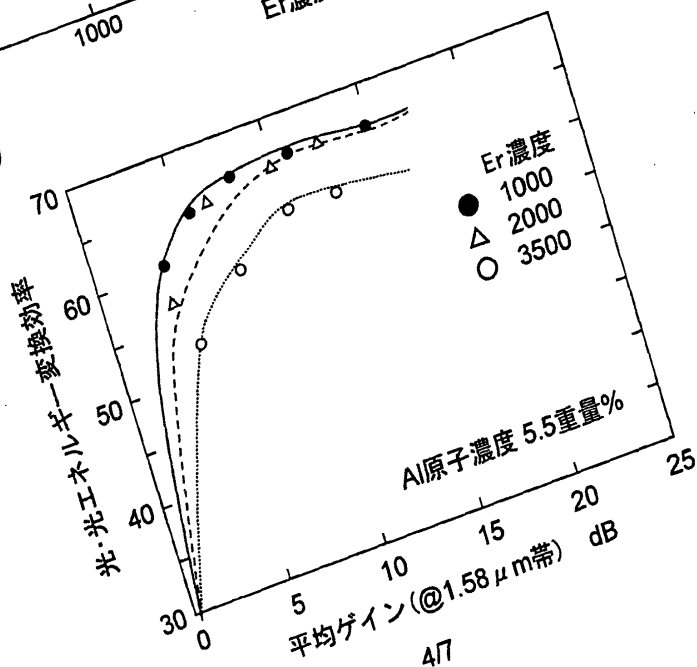


図10



WO 0074184

図11

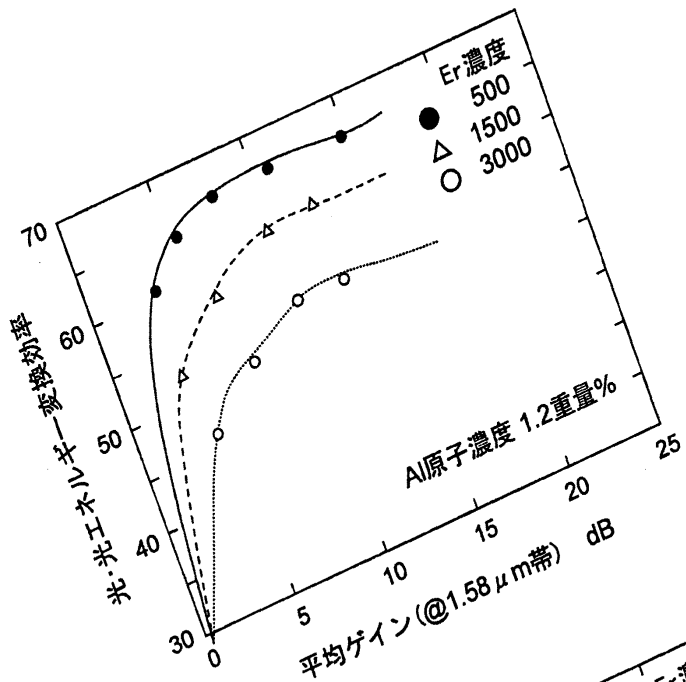


図12

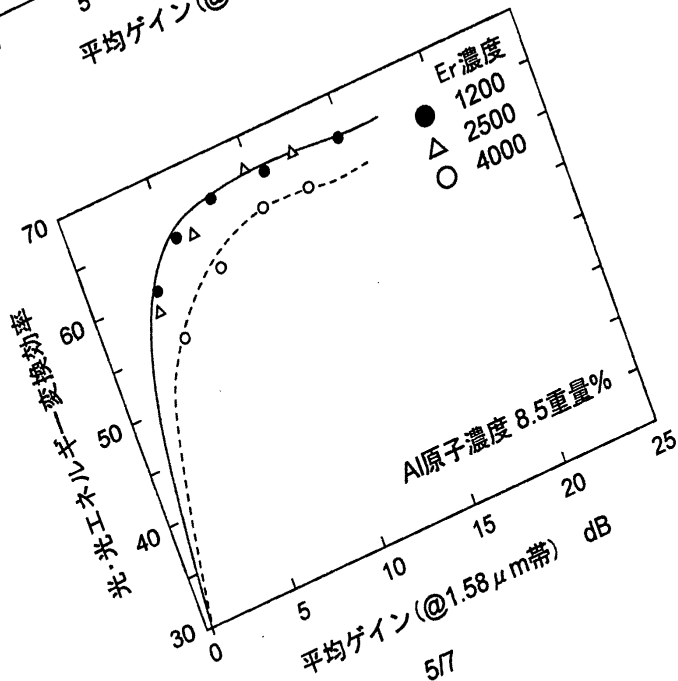


図13

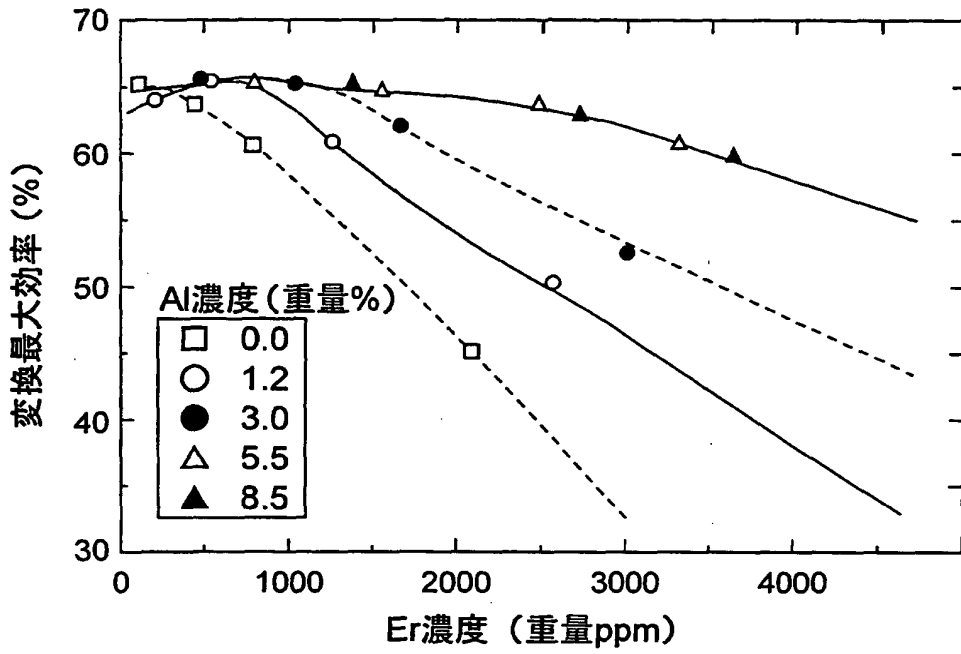


図14

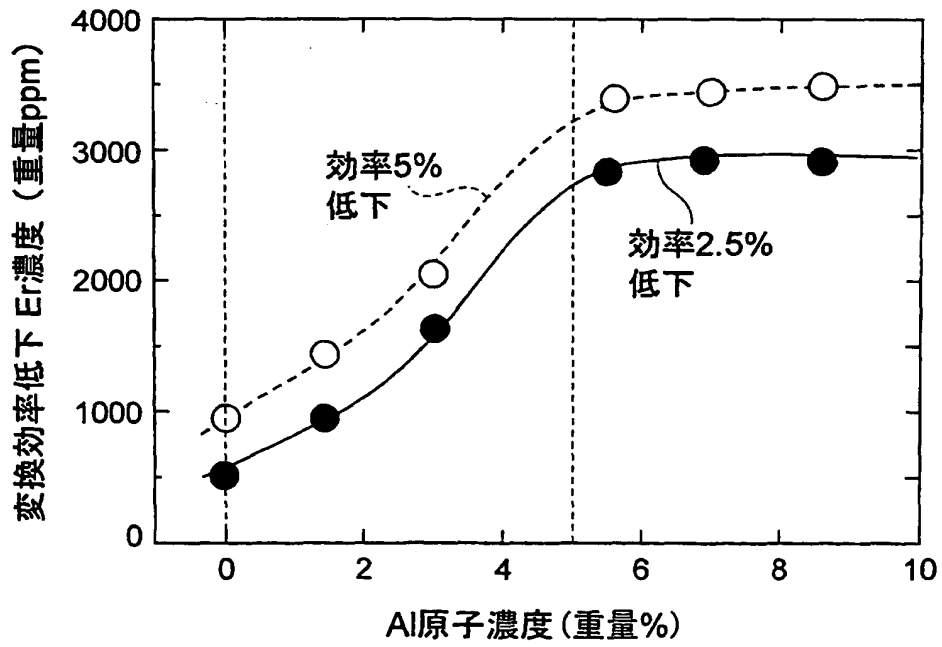


図15

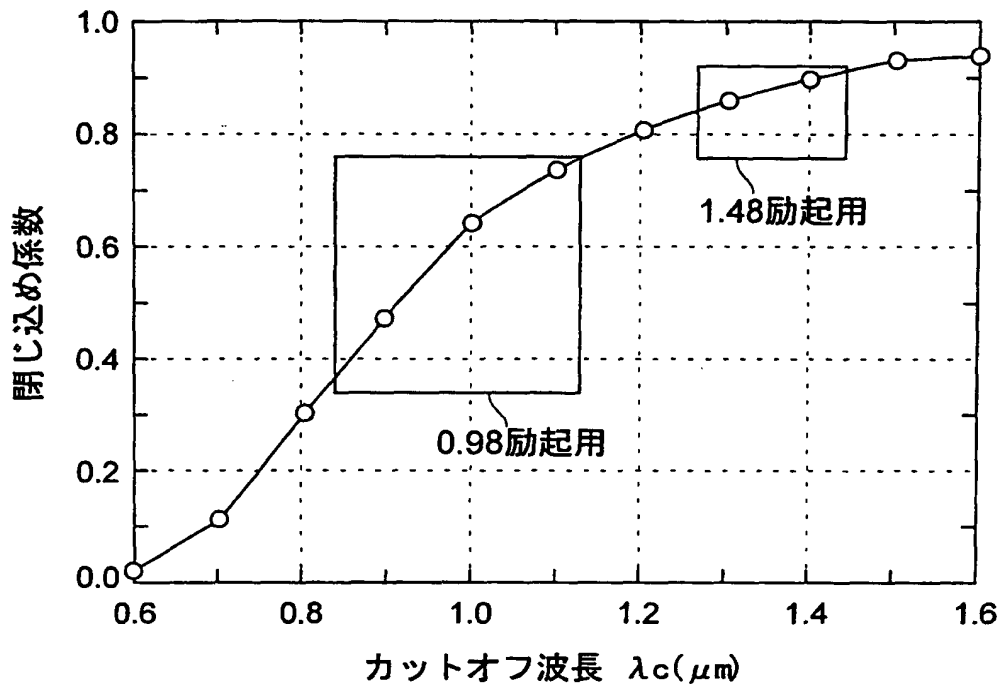
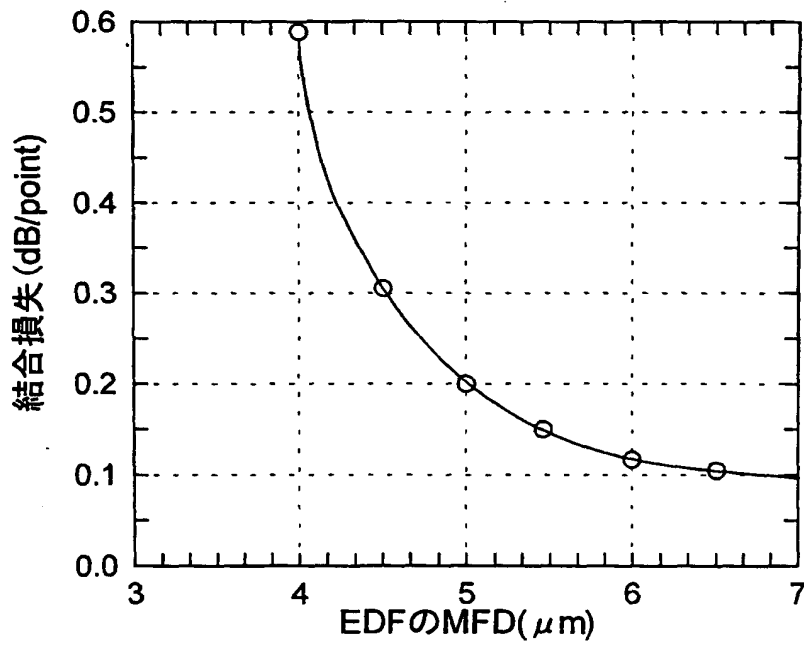


図16



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/02850

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl <sup>6</sup> H01S3/10		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>6</sup> H01S3/06, 3/07, 3/10, 3/17		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1940-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 5-63259, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 12 March, 1993 (12. 03. 93), Full text ; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-9
A	JP, 4-369280 (Corning Inc.), 22 December, 1992 (22. 12. 92), Full text ; Figs. 1 to 11 & EP, 522201, A1	1-9
A	JP, 4-273187, A (American Telephone and Telegraph Co.), 29 February, 1992 (29. 02. 92), Full text ; Figs. 1 to 5 & US, 5058976, A & EP, 469795, A1	1-9
A	JP, 4-298724, A (Pirelli Cavi S.p.A.), 22 October, 1992 (22. 10. 92), Full text ; Figs. 1 to 8 & EP, 442553, A	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 24 June, 1999 (24. 06. 99)		Date of mailing of the international search report 6 July, 1999 (06. 07. 99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/02850

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 6-224511, A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 12 August, 1994 (12. 08. 94), Full text ; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-9
A	JP, 7-234423, A (Nippon Telegraph & Telephone Corp.), 5 September, 1995 (05. 09. 95), Full text ; Figs. 1 to 12 (Family: none)	1-9
A	JP, 10-261828, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 September, 1998 (29. 09. 98), Full text ; Figs. 1 to 13 (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl. <sup>8</sup> H01S3/10		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl. <sup>8</sup> H01S3/06, 3/07, 3/10, 3/17		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1940-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-1999年 日本国登録実用新案公報 1994-1999年 日本国実用新案登録公報 1996-1999年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 5-63259, A (住友電気工業株式会社) 12. 3月. 1993 (12. 03. 93) 全文、第1-5図 (ファミリーなし)	1-9
A	J P, 4-369280 (コーニング インコーポレイテッド) 22. 12月. 1992 (22. 12. 92) 全文、第1-11図 & EP, 522201, A1	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー		
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	の日の後に公表された文献
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
国際調査を完了した日	24. 06. 99	国際調査報告の発送日
		06.07.99
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2K 8806
日本国特許庁 (ISA/J P)	山下 崇	
郵便番号100-8915		
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	電話番号 03-3581-1101	内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP、4-273187、A (アメリカン テレフォン アンド テレグラフ カムパニー) 29. 2月. 1992 (29. 02. 92) 全文、第1-5図 & US、5058976、A & EP、469795、A1	1-9    1-9
A	JP、4-298724、A (ピレリー・カピ・ソチエタ・ペル ・アツイオーニ) 22. 10月. 1992 (22. 10. 92) 全文、第1-8図 & EP、442553、A	
A	JP、6-224511、A (三菱電線工業株式会社) 12. 8月. 1994 (12. 08. 94) 全文、第1-6図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP、7-234423、A (日本電信電話株式会社) 5. 9月. 1995 (05. 09. 95) 全文、第1-12図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP、10-261828、A (住友電気工業株式会社) 29. 9月. 1998 (29. 09. 98) 全文、第1-13図 (ファミリーなし)	1-9